

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01137687.2

[43] 公开日 2002 年 6 月 19 日

[11] 公开号 CN 1354610A

[22] 申请日 2001.11.16 [21] 申请号 01137687.2

[30] 优先权

[32] 2000.11.16 [33] US [31] 09/714,084

[71] 申请人 朗讯科技公司

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 郑盛泽 黄正豪

安吉尔·勒扎诺

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

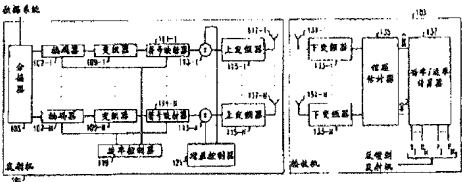
代理人 蒋世迅

权利要求书 6 页 说明书 7 页 附图页数 2 页

[54] 发明名称 具有多个发射和接收天线的无线系统反
馈技术

[57] 摘要

在多重输入多重输出(MIMO)系统中,通过为总数据流的每个数据子流提供传输该数据子流的速率指示符和/或增益指示符作为反馈,利用比反馈信道估计或信道统计所需带宽小得多的带宽可实现相比无反馈情况容量的显著增加。该速率指示符和/或增益指示符可以直接是速率和/或增益,或是速率和/或增益的编码表示形式。一般地,如果速率和增益指示符同时被反馈将能实现最佳性能。速率和增益是根据在接收机中产生的信道估计的函数计算的。发射机最好对每个数据子流采用一维数据编码。



权 利 要 求 书

1. 一种多重输入多重输出(MIMO)系统的发射机, 用于发送源于同一个数据流, 它包括:

用于为每个数据子流接收反馈的速率和功率指示符的装置; 以及
为每个相应的数据子流施加速率控制和功率控制的装置, 其中该速率控制和功率控制对应于为所述数据子流接收的所述速率和功率指示符。

2. 根据权利要求1的发射机, 其中所述速率和功率指示符包括所述速率的独立表示和所述功率的独立表示。

3. 根据权利要求1的发射机, 其中所述速率和功率指示符为所述速率和所述功率。

4. 根据权利要求1的发射机, 其中所述速率和功率指示符为所述指示符指示的所述速率和所述功率的直接函数值。

5. 根据权利要求1的发射机, 其中由接收机确定每个速率和功率为信道估计的函数。

6. 一种多重输入多重输出(MIMO)系统的接收机, 用于接收源于同一个数据流的多个数据子流, 它包括:

用于估计信道特性的装置; 以及

用于为每个数据子流导出作为所述估计装置产生的估计信道特性函数的速率指示符和功率指示符的装置; 以及

用于发送反馈的所述速率的所述指示符和所述功率的所述指示符到发射机的装置。

7. 一种多重输入多重输出(MIMO)系统的发射机, 用于发送源于同一个总数据流的多个数据子流, 它包括:

多个编码器, 每个所述数据子流使用一个编码器, 每个所述编码器响应从所述发射机发送的所述子流的接收机中接收的反馈速率信息; 以及

多个符号映射器, 每个所述符号映射器耦合以接收一个所述数据子流的相应编码版本, 而且每个所述符号映射器也响应所述速率信息。

8. 根据权利要求7的发射机, 还包括多个增益乘法器, 响应从所述接

收机接收的所述部分反馈的功率信息。

9. 根据权利要求7的发射机, 还包括多个交织器, 每个所述交织器耦合在一个相应的所述编码器和一个相应的所述符号映射器之间。

10. 根据权利要求 7 的发射机, 其中对于一个相应的所述数据子流, 每个所述符号映射器与一个相应的所述编码器相关。

11. 根据权利要求 7 的发射机, 其中每个所述符号映射器与沿一个相应的所述数据子流的发射路径的一个相应的所述编码器相关, 而且对于每个发射路径, 其相关编码器和符号映射器从所述速率信息中接收相同速率。

12. 根据权利要求 7 的发射机, 还包括一个速率控制器, 用于响应所述速率信息, 为每个所述符号映射器和所述编码器提供一个将要使用的速率。

13. 根据权利要求 7 的发射机, 还包括一个速率控制器, 用于响应作为以编码格式接收的所述速率信息的函数的所述速率信息, 为每个所述符号映射器和所述编码器提供一个将要使用的速率。

14. 根据权利要求 7 的发射机, 还包括一个速率控制器, 用于响应所述速率信息, 为每个所述符号映射器和所述编码器提供一个将要使用的速率。

15. 一种用于发送源于同一个总数据流的多个数据子流的多重输入多重输出 (MIMO) 系统的发射机, 包括:

多个增益作用器，每个所述数据子流使用一个增益作用器，每个所述增益作用器响应从所述发射机发送的所述子流的接收机中接收的反馈功率信息。

16. 根据权利要求 15 的发射机, 其中所述增益作用器为乘法器。

17. 根据权利要求 15 的发射机, 还包括一个增益控制器, 用于响应所述功率信息, 为每个所述增益作用器提供将要使用的功率。

18. 根据权利要求 15 的发射机, 还包括一个增益控制器, 用于为每个所述增益作用器提供用作以编码格式接收的所述功率信息的函数的功率。

19. 一种多重输入多重输出 (MIMO) 系统的接收机, 用于接收源于同一个总数据流的多个数据子流, 它包括:

信道估计器, 用于 (i) 从所述接收的多个数据子流中产生一个总信道估计, 和 (ii) 产生所述总体信道的噪声功率估计; 以及

功率计算器, 用于计算所述子流的发射机使用的功率, 每个所述子流使用一个相应的功率计算器。

20. 一种多重输入多重输出 (MIMO) 系统的接收机, 用于接收源于同一个总数据流的多个数据子流, 它包括:

信道估计器, 用于 (i) 从所述接收的多个数据子流中产生一个总信道估计, 和 (ii) 产生所述总体信道的噪声功率估计; 以及

速率计算器, 用于计算所述子流的发射机使用的速率, 每个所述子流使用一个相应的速率计算器。

21. 一种用于处理源于同一个总数据流的多个数据子流在多重输入多重输出 (MIMO) 系统中传输的方法, 该方法包括步骤:

编码作为各个速率指示符的函数的每个所述数据子流, 以产生编码数据子流, 其中所述的各个速率指示符作为每个所述数据子流的反馈从所述 MIMO 系统的接收机接收到; 以及

在每个所述编码数据子流均被交织后分别映射它们, 利用作为从所述 MIMO 系统的接收机接收到的所述各个反馈速率的每个所述指示符的函数选择的构象, 为每个所述数据子流执行所述映射每个所述编码交织数据流的操作, 以产生编码交织映射的数据子流。

22. 根据权利要求 21 的方法, 还包括步骤: 以所述 MIMO 系统的所述接收机接收到的各个反馈指示符的函数控制每个所述编码交织映射数据子流的功率, 用于控制每个所述编码交织映射数据子流的功率。

23. 根据权利要求 22 的方法, 其中有 N 个发射路径, 每个数据子流使用一个发射路径, 以及 M 个接收路径, 这样就有 $N \times M$ 个信道, 在所述接收机通过下述步骤产生所述指示符和所述速率:

产生 $N \times M$ 矩阵的总信道估计 \hat{H} ;

确定信道中的噪声功率 σ^2 ;

初始化计数器 n 为值 N ;

初始化变量 $P_{\text{remaining}}$ 为系统可用的总发射功率 P_T ;

指定第 n 号子流的初始功率分配 P_n 为值 $P_{\text{remaining}}/n$;

计算 $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n=1, \dots, N$)

其中

R_n 为第 n 号发射子流使用的速率;

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ 为第 n 号发射子流的 M 维复向量;

$h_{m,n}$ 为从第 n 号发射子流到第 m 个接收分支的复信道系数,
 $m=1 \dots M$;

上标 T 指示矩阵转置操作;

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ 为 $M \times (N-n)$ 矩阵;

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ 为所分配功率的对角 $(N-m)$ 矩阵;

上标 H 表示埃尔米特转置操作;

上标 -1 表示矩阵的逆; 以及

\mathbf{I} 为大小为 $M \times M$ 的单位矩阵;

量化 R_n 为最近的步长以产生 \bar{R}_n ; 以及

通过计算 $\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$ 重新计算当前子流 n 的功率, 其

中 \bar{P}_n 表示重新计算的功率。

24. 根据权利要求 22 的方法, 还包括下面的步骤: 当 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ 时

n 减 1;

设置 $P_{\text{remaining}}$ 为 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$; 以及

当 n 不等于 0 时, 重复所述分配、计算、量化和重新计算步骤。

25. 根据权利要求 22 的方法, 还包括下面的步骤: 当 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$ 时

设置 \bar{R}_n 等于向下量化到小于 R_n 的最近步长值的 R_n 值; 以及
重复所述重新计算步骤。

26. 一种用于多重输入多重输出 (MIMO) 系统的接收机的方法, 该系统中有 N 个发射路径, 每个数据子流使用一个发射路径, 以及 M 个接

收路径，这样总信道中就有 $N \times M$ 个信道，该方法包括步骤：

产生 $N \times M$ 矩阵的总信道估计 $\hat{\mathbf{H}}$ ；

确定信道中的噪声功率 $\hat{\sigma}^2$ ；

初始化计数器 n 为值 N ；

初始化变量 $P_{\text{remaining}}$ 为系统可用的总发射功率 P_T ；

指定第 n 号子流的初始功率分配 P_n 为值 $P_{\text{remaining}}/n$ ；

计算 $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n=1, \dots, N$)

其中

R_n 为第 n 号发射子流使用的速率；

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ 为第 n 号发射子流的 M 维复向量；

$h_{m,n}$ 为从第 n 号发射子流到第 m 个接收分支的复信道系数， $m=1 \dots M$ ；

上标 T 指示矩阵转置操作；

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ 为 $M \times (N-n)$ 矩阵；

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ 为所分配功率的对角 $(N-m)$ 矩阵；

上标 H 表示埃尔米特转置操作；

上标 -1 表示矩阵的逆；以及

\mathbf{I} 为大小为 $M \times M$ 的单位矩阵；

量化 R_n 为最近的步长以产生 \bar{R}_n ；以及

通过计算 $\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$ 重新计算当前子流 n 的功率，其

中 \bar{P}_n 表示重新计算的功率。

27. 根据权利要求 26 的方法，还包括下面的步骤：当 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ 时

n 减 1；

设置 $P_{\text{remaining}}$ 为 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$ ；以及

当 n 不等于 0 时，重复所述分配、计算、量化和重新计算步骤。

28. 根据权利要求 26 的方法，还包括下面的步骤：当 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$ 时

设置 \bar{R}_n 等于向下量化到小于 R_n 的最近步长值的 R_n 值；以及

01.11.15

重复所述重新计算步骤。

具有多个发射和接收天线的无线系统反馈技术

技术领域

本发明涉及无线通信技术，尤其涉及在发射机和接收机都使用多个天线的无线通信系统，即，所谓的多重输入多重输出（MIMO）系统。

背景技术

在通信技术上已经知道，相比单个天线（即，单个天线到单个天线或多个天线到单个天线）的系统，多重输入多重输出（MIMO）系统能实现容量显著增加。还知道，如果信道估计或基于信道估计的信道统计被反馈到发射机，那么相对于具有相同配置但无反馈的系统来说，能提高信道流量。然而，由于在 MIMO 系统中总信道实际上是由多个信道构成的，每个发射和接收对使用一个信道，这种反馈要求相当大的带宽，但是我们不希望专门提供这么多带宽用于反馈。

发明内容

在 MIMO 系统中，根据本发明的原理，通过为总数据流的每个数据子流提供传输该数据子流的速率指示符和/或增益指示符作为反馈，利用比反馈信道估计或信道统计所需带宽小得多的带宽可实现相比无反馈情况的重大改进。该速率指示符和/或增益指示符可以直接是速率和/或增益，或是速率和/或增益的编码表示形式。一般地，如果速率和增益指示符同时被反馈将能实现最佳性能。如果本发明是为无线系统实现的，那么典型地对每个数据子流有一个分立的独立天线。速率和增益是根据在接收机中产生的信道估计的函数计算的。发射机最好对每个数据子流采用一维数据编码。

附图说明

在附图中：

图 1 示出了根据本发明的原理配置，以便实现相比单个天线系统容量显著增大的一种示例性多重输入多重输出（MIMO）系统；以及

图 2 示出了根据本发明一方面，为一个具有 N 个发射子流和 M 个接收分支的系统确定速率和功率的示例性过程。

具体实施方式

下面仅示意本发明的原理。因此将知道，本领域的技术人员将能设计出各种方案，尽管在此没有明确描述或示意这些方案，但它们体现了本发明的原理，因此包含于本发明的精神和范围之内。此外，在此陈述的所有例子和条件语言主要是用于教学目的，帮助读者理解本发明的原理以及本发明人贡献的构思，以进一步发展该技术，而且应认为它们并不局限于陈述的这些具体例子和条件。此外，在此陈述原理、方方面面的所有描述，本发明的实施例，以及特定例子，仅用于包含本发明的所有等效结构和功能。另外，这种等效既包括当前已知的等效，也包括将来开发的等效，即，开发用于执行相同功能而与结构无关的任何单元。

因此，例如，本领域的技术人员将知道，在此方框图表示体现本发明原理的示意性电路的原理图。类似地，任何流程图、流程框图、状态转换图、伪代码等表示各种过程，它们实质上可以用计算机可读介质表示，因此可以通过计算机或处理器执行，而不管是否明确示出了这种计算机或处理器。

附图中所示的各个单元（包括标记为“处理器”的功能块）的功能，可以通过使用专用硬件以及能结合适当软件执行软件的硬件提供。当由处理器提供时，这些功能可以由单个专用处理器、单个共用处理器，或某些可共用的多个独立处理器提供。此外，不应认为使用术语“处理器”或“控制器”专指能执行软件的硬件，而是隐含但不限制为数字信号处理器（DSP）硬件，用于存储软件的只读存储器（ROM），随机存取存储器（RAM），以及非永久存储。也可以包含其它常规和/或定制（custom）硬件。类似地，附图中示出的任何开关仅仅是原理上的。通过程序逻辑运行、通过专用逻辑、通过程序控制和专用逻辑的交互作用，或甚至人工控制，可实现这些开关的功能，从上下文可更详细地了解所选择的特定技术。

在本发明的权利要求书中，表述为用于执行指定功能的装置的任何单

元，目的是包含执行该功能的任何方式，包括例如，a) 执行该功能的电路元件组合，或 b) 组合适当电路用于执行该软件以实现该功能的任何形式的软件，因此包括固件、微代码等等。这些权利要求定义的本发明实际上归于，陈述的各种装置提供的功能被组合而且以权利要求书要求的方式集合。申请人因此认为能提供这些功能的任何装置为在此所示装置的等效。

图 1 示出了根据本发明的原理配置，以便实现相比单个天线系统容量显著增大的一种示例性多重输入多重输出 (MIMO) 系统。图 1 特别示出了发射机 101 和接收机 103。发射机 101 包括 a) 分接器 105；b) 编码器 107，包括编码器 107-1 到 107-N；c) 交织器 109，包括交织器 109-1 到 109-N；d) 符号映射器 111，包括符号映射器 111-1 到 111-N；e) 增益乘法器 113，包括增益乘法器 113-1 到 113-N；f) 可选上变频器 115，包括可选上变频器 115-1 到 115-N；g) 可选发射天线 117，包括可选发射天线 117-1 到 117-N；h) 速率控制器 119；以及 i) 增益控制器 121。接收机 103 包括 a) 可选接收天线 131，包括可选接收天线 131-1 到 131-M；b) 可选下变频器，包括可选下变频器 133-1 到 133-M；c) 信道估计器 135；以及 d) 功率/速率计算器 137。

分接器 105 接收一个总数据流作为输入，该总数据流为要发射的数据，并将其分为 N 个数据子流，将沿独立的发射路径处理接着发射每个数据子流。

每个编码器 107 对各自接收的数据子流进行信道编码，以便增加该数据子流的冗余度。这有利于在出现误差的接收机恢复误差。根据本发明一方面，所使用的信道编码类型为从接收机反馈的速率或其指示的函数。这个函数可利用给出反馈速率指示的查询表实现，典型地通过速率控制器 119 实现。给定本发明实现的特定细节，例如，信道统计，使用的子流数量，等等，本领域的普通技术人员将懂得如何组织这个函数。使用的信道编码类型将确定在编码数据子流中的特定冗余量，而且应注意冗余量即称为码率。每个编码器 107 可使用与任何其它编码器 107 使用的信道编码独立的信道编码，而且每个编码器可接收一个独立的指定速率。

交织器 109 为常规型，每个交织器 109 重组其接收的编码数据子流比特以提供信道衰落保护。

每个符号映射器 111 映射其接收的交织编码信道子流比特到一个构象中的一个点。根据本发明一方面，所使用的特定构象的选择为从接收机反馈的速率或其指示的函数。这个函数可以利用给出反馈速率指示的查询表实现，典型地通过速率控制器 119 实现。给定本发明实现的特定细节，例如，信道统计，使用的子流数量等等，本领域的普通技术人员将懂得如何组织这个函数。典型地，数据传输率越低，构象中用于以该速率传输数据的符号数越少。

根据本发明一方面，每个增益乘法器 113 为其接收的映射数据子流提供在从接收机反馈中指示的增益。在本发明的一个示例性实施例中，例如，根据注水原理，对应一个增益乘法器 113 的特定信道越好，则提供的增益越高。

每个可选上变频器 115 执行常规上变频功能。在无线电基系统中，通过利用其接收的调节（regulated）映射数据子流的增益作为输入调制载波波形，每个上变频器 115 生成一个射频信号。产生的每个调制信号可提供给耦合每个上变频器 115 的一个相应可选发射天线 117。

速率控制器 119 接收从接收机 103 反馈的速率或其指示，并从接收信息中导出每个子流的码率和构象大小。根据本发明一方面，每个码率或其指示接着提供给适当的编码器，而且要使用的构象，或其指示，提供给每个符号映射器。因此，速率控制器 119 可实现映射功能，从来自接收机 103 的反馈信息中确定码率和构象。

增益控制器 121 从接收机 103 的反馈中接收该增益，或其指示，并通过一个相关的增益乘法器 113 从接收信息中导出每个子流要使用的增益。注意功率和增益之间存在直接关系。具体来说，通过取功率的平方根可将功率转换为增益。因此，功率可以是增益的指示，反之亦然。如果功率信息是经反馈接收的，那么它很容易转换为适当增益。

注意，速率控制器 119 的功能可以结合到编码器 107 和符号映射器 111。类似地，增益控制器 121 的功能也可以结合到增益乘法器 113 中。

每个可选接收天线 131 从每个可选天线 117 接收一个信号。在每个天线接收的信号被其耦合的一个可选下变频器 133 转换为基带。产生的基带信号被馈入信道估计器 135。

信道估计器 135 为每个发射和接收对进行信道估计。因此，对于 N 个发射天线和 M 个接收天线有 $N \times M$ 个信道。对每个信道的估计集合排列成 $N \times M$ 矩阵的总信道估计 \hat{H} 。另外，信道估计器 135 估计信道中的噪声功率 $\hat{\sigma}^2$ 。

\hat{H} 和 $\hat{\sigma}^2$ 提供给功率/速率计算器 137，计算器 137 根据本发明的原理计算速率 R 和功率 P ——上面提到，它们直接对应增益，而且以对分接器 105 产生的每个数据子流发射机 101 应使用的增益——或其指示的形式，为发射机 101 所用。这些速率和功率利用反馈信道提供给发射机 101。

由功率/速率计算器 137 分配速率和功率的过程取决于完成人。给出下面的讨论和例子，本领域的普通技术人员能开发出各自的程序。本过程的特别目标是分配速率和功率来最大化总信道容量。至此，一般地，质量更佳信道将分配更高的速率和功率。

注意，接收机 103 没有示意解码器和去交织器。这是因为，尽管解码器和去交织器对于一个完整的接收机是必需的——在提供接收机 103 的输出数据之前用于将发射机执行的互补功能反转——但它们对于提供给信道估计器 135 的数据流不是必要的，因此为表述清晰起见没有示出。

图 2 示出了根据本发明一方面，为一个具有 N 个发射子流和 M 个接收分支的系统确定速率和功率的示例性过程。在本发明的一个实施例中，图 2 的过程可以持续运行。然而，仅在与之前反馈的值有太大偏差时才反馈由该过程确定的值。在本发明的另一实施例中，仅在信道估计器 135（图 1）确定信道的改变量足以保证该过程运行时该开始运行该过程。例如，当确定了最后时刻速率和功率 \hat{H} 的模方（norm）差，而且当前 \hat{H} 大于一个指定门限时。图 2 的过程由功率/速率计算器 137（图 1）执行。

当确定了要计算的速率和功率时，在步骤 200（图 2）进入该过程。在步骤 201，初始化几个变量。特别是计数器 n 被初始化为值 N ，而变量 $P_{\text{remaining}}$ 的值被初始化为 P_T 。这是应用图 2 过程的系统中可用的总发射功

率。接着，在步骤 203，标记为 P_n 的初始功率分配 $P_{\text{remaining}}/n$ 被分配给第 n 号子流。 $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n=1, \dots, N$) 的值在步骤 205 计算，其中

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ 为第 n 号发射子流的 M 维复向量；

$h_{m,n}$ 为从第 n 号发射子流到第 m 个接收分支的复信道系数， $m=1 \dots M$ ；

上标 T 指示矩阵转置操作；

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ 为 $M \times (N-n)$ 矩阵；

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ 为所分配功率的对角 $(N-m)$ 矩阵；

上标 H 表示埃尔米特转置操作；

上标 -1 表示矩阵的逆；以及

\mathbf{I} 为大小为 $M \times M$ 的单位矩阵。

在步骤 207， R_n 的值被量化为最近的步长，例如，最近的整数，所选整数倍数的最近整数，或所选值的最近倍数，等等。量化值 R_n 表示为 \bar{R}_n 。

在步骤 209 重新计算当前子流 n 的功率。这可通过计算 $\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$ 执行，其中 \bar{P}_n 表示重新计算的功率。条件分

支点 211 进行测试以确定是否 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ 。这个测试确定剩余功率的大小是否大于为子流 n 分配的功率，即，由于剩余足够功率支持分配因此确实可以进行功率分配。如果在步骤 211 测试结果为 YES，指示确实可以执行功率分配，则控制转入步骤 213，在此计数器 n 减 1，而 $P_{\text{remaining}}$ 设置为 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$ 。

条件分支点 215 测试以确定是否 $n=0$ ，即，已处理完所有子流。如果在步骤 215 的测试结果为 NO，控制回到步骤 203，如上所述继续该过程。如果在步骤 215 的测试结果为 YES，则控制转入步骤 217，退出该过程。

如果在步骤 211 的测试结果为 NO，指示确实无法执行功率分配，控制转入步骤 219，在此设置 \bar{R}_n 等于向下量化到小于 R_n 的最近步长值，例如，小于 R_n 的最近整数，所选整数倍数且小于 R_n 的最近整数，或所选值的最近倍数且小于 R_n ，等等。这将产生一个较小的值 \bar{P}_n 。控制接着回到步骤 209，并且如上所述继续该过程。

一旦完成了图 2 的过程，生成的速率和功率可通过反馈路径提供发射

机使用。或者，可编码这些速率和功率，这样它们可由发射机解释的指示符表示，以便确定适当速率和功率，由此确定增益。上面指出，功率在接收机可转换为增益，而且可通过反馈路径直接提供增益信息，或其编码表示，供发射机使用。此外，根据本发明一方面，尽管同时反馈速率和功率能产生更佳性能，但只反馈关于速率的信息，或关于功率的信息——由此关于增益的信息——以实现相对现有技术的提高。

图1

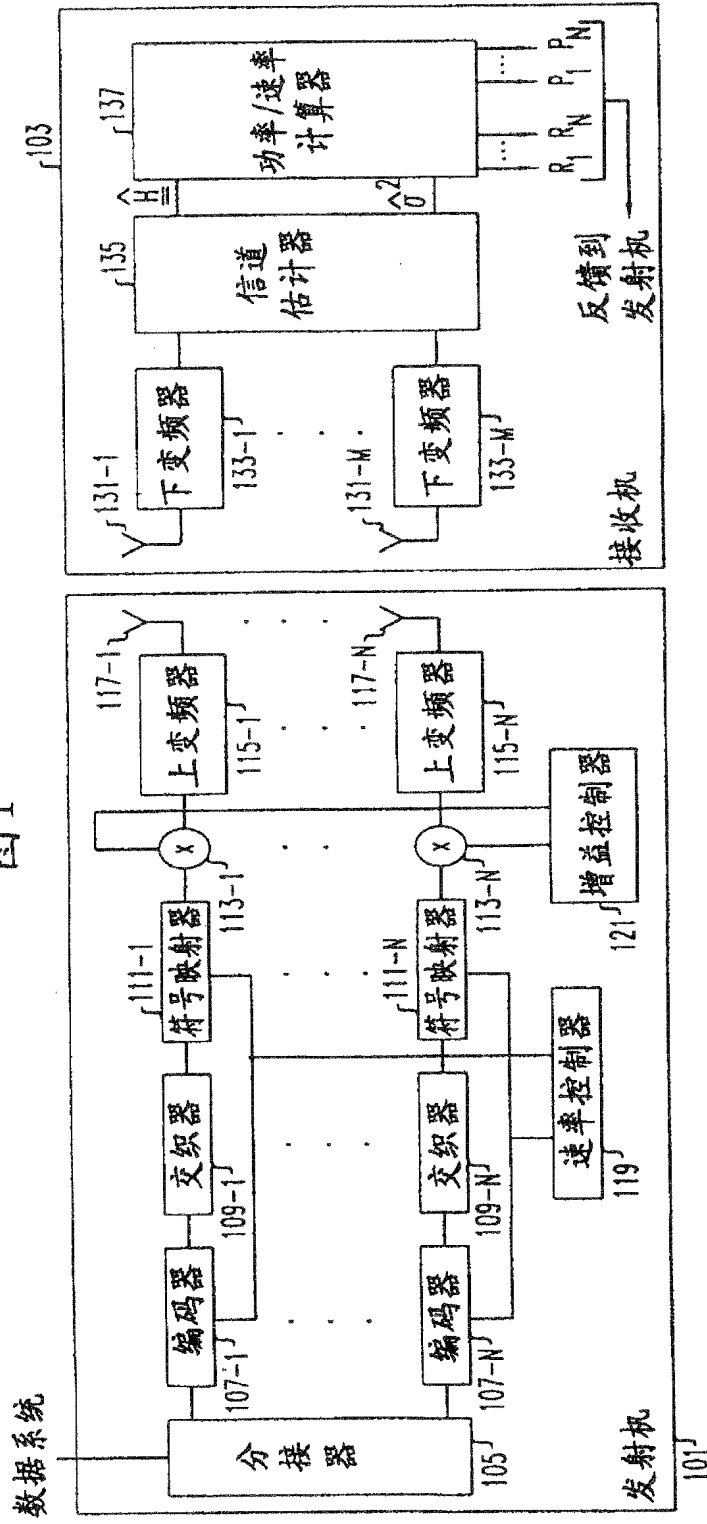


图 2

